

اثر قارچ‌های ریشه‌ای آربوسکولار بر تغییرهای فصلی برخی شاخص‌های رشدی و

فیزیولوژیک پایه‌های رویشی سیب در یک خاک آهکی^۱

Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Seasonal Changes of Some Growth and Physiological Parameters of Apple Clonal Rootstocks in a Calcareous Soil

علی قرقانی^{*}، آرام حسینی و مهدی زارعی^۲

چکیده

آزمایشی برای بررسی اثر همزیستی قارچ‌های ریشه‌ای آربوسکولار بر روند رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی چند پایه رویشی سیب در طول فصل رشد در یک خاک آهکی انجام شد. این آزمایش با دو فاکتور پایه در سه سطح (پایه‌های M7، M9 و MM106) و قارچ در چهار سطح (*Glomus versiforme*، *Rhizophagus interaradices*، *Claroideoglomus etunicatum* و شاهد) به صورت فاکتوریل بر پایه طرح به طور کامل تصادفی در شرایط گلخانه انجام شد. شاخص‌های رشدی (ارتفاع و قطر گیاه) و فیزیولوژیک (کلروفیل کل، فتوسنتز و تعرق) و همچنین مقدار کلونیزاسیون ریشه گیاه در سه زمان (هفته‌های ۱۱، ۱۵ و ۱۹ بعد از کاشت) در طول فصل رشد اندازه‌گیری شد. نتیجه‌ها نشان داد اثر تیمارهای قارچ و نوع پایه‌ها بر تمامی شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در هر سه زمان معنی‌دار بود. در بین قارچ‌ها، *G. versiforme* در بیشتر شاخص‌های اندازه‌گیری شده برتر از دو قارچ دیگر بود. در بین پایه‌ها، وزن تر شاخساره و همچنین ارتفاع (در دو اندازه‌گیری اول) در MM106 بیشتر بود ولی ارتفاع نهایی M7 بیشتر از بقیه بود. بیشترین و کمترین قطر نهال به ترتیب مربوط به MM106 و M7 بود. بیشترین مقدار کلروفیل، فتوسنتز و تعرق در پایه M9 مشاهده شد. بیشترین مقدار کلونیزاسیون ریشه در پایه M7 دیده شد. به نظر می‌رسد با انتخاب پایه مناسب و همزیست کردن آن با قارچ‌های مایکوریزا می‌توان دشواری‌ها ناشی از خاک‌های آهکی از جمله کم‌سبزیگی و کاهش رشد گیاه را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: سیب، پایه رویشی، قارچ آربوسکولار مایکوریز، فتوسنتز، رشد.

مقدمه

سیب یکی از مهم‌ترین میوه‌های منطقه‌های معتدل است که در بسیاری از نقاط دنیا از جمله ایران کشت و کار می‌شود. بیشتر باغ‌های سیب کشور از نوع سنتی با تراکم پایین و روی پایه‌های بذری هستند که در مقایسه با باغ‌های کشورهای توسعه یافته از میانگین تولید پایینی برخوردار هستند. آهک بالا و pH بالا از متداول‌ترین دشواری‌های خاک‌ها در باغ‌های سیب کشور هستند که به دلیل محدودیت‌هایی که برای جذب برخی از عنصرهای

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۸

۱- تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱۶

۲- به ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد بخش علوم باغبانی و دانشیار بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: (agharghani@shirazu.ac.ir).

غذایی ایجاد می‌کنند، دشواری‌های تغذیه‌ای قابل توجهی را در بیشتر باغ‌های سیب کشور سبب شده‌اند که این مسئله یکی دیگر از دلایل‌های عملکرد پایین در باغ‌های سیب کشور است (۲۱).

پایه‌های پاکوتاه کننده به‌طور گسترده‌ای در صنعت تولید میوه به‌عنوان ابزاری برای افزایش سودمندی باغ‌ها مورد قبول واقع شده است (۵). پژوهش‌های زیادی تأثیر پایه‌های سیب را در زود باردهی، رشد و اندازه درخت، کیفیت میوه، مقدار باردهی، جذب عنصرهای غذایی و مقاومت به شرایط نامساعد محیطی نشان داده‌اند (۹، ۱۹، ۲۴، ۲۵). برخی پژوهش‌ها نیز اثر پایه‌های مختلف را روی ویژگی‌های فیزیولوژیک بررسی کرده‌اند. فری و باردن (۱۰) نشان دادند که آهنگ فتوسنتز درختان سیب پیوند شده روی پایه‌های بذری در مقایسه با درختان پیوند شده روی پایه MM₁₀₆ بالاتر بود. همچنین نشان داده شده است که فتوسنتز برگ‌های درختان سیب رقم گلدن دلشیز پیوند شده روی پایه M₇ و MM₁₁₁ بالاتر از آن‌هایی بود که روی پایه M₉ پیوند شده بودند (۳). در پژوهشی دیگر سیب رقم امپریال دابل رد دلشیز روی پنج پایه M₇، MM₁₀₆، MM₁₀₄، MM₁₀₉ و پایه بذری بررسی شد. نتیجه‌ها نشان داد که پایه بذری و MM₁₀₉ آهنگ فتوسنتز بیشتری داشتند، اما بین دیگر پایه‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (۳۶). با این حال فری و باردن (۱۰) گزارش کردند که فتوسنتز و تنفس تاریکی درختان سیب رقم دلشیز پیوند شده روی پایه‌های مختلف متأثر از پایه نبود.

قارچ‌های ریشه‌ای آربسکولار (Arbuscular Mycorrhizal Fungi) رایج‌ترین همزیستی بین گیاهان و میکروارگانیسم‌های خاکزی می‌باشد. این قارچ‌ها دارای اثرهای مهمی در رشد و نمو گیاهان و مقاومت آن‌ها در شرایط نامساعد و تنش‌های محیطی هستند (۱۱). در این همزیستی قارچ ماده‌های کربوهیدراتی را از میزبان دریافت و در مقابل آب و عنصرهای غذایی، فاکتورهای رشد و غیره در اختیار گیاه قرار می‌دهد. بیشتر گیاهان قادر به تشکیل همزیستی ریشه‌ای هستند ولی برخی از آن‌ها به آسانی و فراوانی بیشتری این کار را انجام می‌دهند (۳۵).

قارچ‌های ریشه‌ای می‌توانند باعث افزایش رشد، سطح برگ و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه شوند. این افزایش رشد می‌تواند به بهبود جذب آب توسط ریشه‌های قارچ و افزایش جذب فسفر نسبت داده شود (۵). افزایش در سطح برگ و محتوای کلروفیل گیاه را می‌توان به اثر مستقیم افزایش فتوسنتز در اثر افزایش جذب فسفر نسبت داد (۷). شوبرت و لوبراکو (۳۴) پایه‌های سیب MM₁₀₆ را که از ریزافزایی جوانه‌های جانبی به‌دست آمده بودند با قارچ ریشه‌ای مایه‌زنی کردند و تفاوت معنی‌داری را در شاخص‌های رشدی بین گیاهان همزیست شده و شاهد مشاهده کردند. کاربرد قارچ‌های ریشه‌ای روی پایه سیب M₇ حاصل از ریزافزایی نشان داد که نهال‌هایی که قارچ ریشه‌ای دریافت کرده بودند استقرار و زنده‌مانی و همچنین رشد بیشتری داشتند (۲۹).

از آن‌جا که تحریک رشد به روشنی با قارچ‌های ریشه‌ای در گیاهان همزیست دیده شده است، به نظر می‌رسد به مشابه آن فرآیندهای متابولیکی مهمی مانند فتوسنتز هم می‌تواند با آن تحریک شود (۱). گزارش شده است که همزیستی گیاهان به طور معنی‌داری مقدار کلروفیل را در برگ‌ها افزایش می‌دهد. افزایش سطح کلروفیل می‌تواند واکنشی برای افزایش آهنگ فتوسنتز باشد، به علاوه می‌تواند بر اثر افزایش جذب عنصرهایی مانند منیزیم موثر باشد که در ساخت این رنگدانه موثر هستند (۱۸).

بهبود آهنگ فتوسنتز در دانهال‌های تلقیح شده با قارچ *Rhizophagus intraradices* در مقایسه با گیاهان غیر تلقیح شده مشاهده شده است (۲۷). افزون بر این، افزایش در سطح سیتوکینین در همزیستی با قارچ ریشه‌ای آربوسکولار مشاهده شده است (۱). افزایش چنین هورمون‌هایی، می‌تواند باعث افزایش آهنگ فتوسنتز با باز گذاشتن روزنه‌ها، اثرگذاری روی انتقال آهن و تنظیم سطح کلروفیل شود (۳۳). در پژوهشی دیگر گزارش شد که دانهال‌های *Citrus tangerine* تلقیح شده با قارچ *Glomus versiforme* آهنگ فتوسنتزی بالاتری را در مقایسه با دانهال‌های شاهد داشتند (۳۸).

با توجه به آن‌که بیشتر خاک‌های ایران آهکی هستند، درختان میوه در این خاک‌ها دچار کم‌سبزی، کاهش رشد و همچنین کاهش کمیت و کیفیت فراورده می‌شوند. بنابراین کاربرد پایه‌های سازگار با این گونه خاک‌ها و یا همزیست کردن قارچ‌های ریشه‌ای با پایه‌های تجاری مهم، می‌تواند نقش به‌سزایی در رفع این دشواری و افزایش کمی و کیفی تولید میوه در کشور به دنبال داشته باشد. هدف از این پژوهش بررسی اثر همزیستی قارچ‌های ریشه‌ای آربوسکولار بر روند تغییر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک پایه‌های رویشی سیب در طول یک فصل رشد در یک خاک آهکی بود.

مواد و روش‌ها

خاک آزمایش

خاک مورد استفاده برای کشت نهال‌ها از منطقه کودیان واقع در شهرستان شیراز در استان فارس و از یک باغ تجاری سیب که خاک آهکی داشته و دشواری‌ها ناشی از تثبیت عنصرهای غذایی کم‌مصرف در آن نمایان بود تهیه شد. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش اندازه‌گیری شد که در جدول ۱ ارائه شده است. از گلدان‌های پلاستیکی شش کیلوگرمی برای کشت نهال‌ها استفاده شد و در هر گلدان پلاستیکی ۶۰۰ گرم سنگریزه برای زهکش و پنج کیلو خاک ریخته شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. Some physical and chemical properties of the used soil in this study.

Physical properties						Chemical properties						
ویژگی‌های فیزیکی						ویژگی‌های شیمیایی						
بافت	شن	رس	لای	ماده آلی	کربنات	واکنش	شوری	فسفر	آهن	مس	روی	منگنز
Texture	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	Organic matter (%)	کلسیم CaCO ₃ (%)	خاک pH	EC (dS m ⁻¹)	Olsen-P (mg kg ⁻¹)	*DTPA-Fe (mg kg ⁻¹)	DTPA-Cu (mg kg ⁻¹)	DTPA-Zn (mg kg ⁻¹)	DTPA-Mn (mg kg ⁻¹)
Sandy clay loam (لوم رسی-شنی)	58.0	30.8	11.2	1.8	38.7	7.8	0.4	12.8	6.3	8.4	1.8	10.6

*Diethylene Triamine Penta Acetic Acid

تهیه قارچ میکوریز آربوسکولار

هاگ قارچ‌های ریشه‌ای آربوسکولار که شامل سه گونه به نام‌های *Glomus versiforme*, *Rhizophagus intraradices* (Syn. *Glomus intraradices*) و *Claroideoglomus etunicatum* (Syn. *Glomus etunicatum*) بودند، توسط بخش خاکشناسی دانشگاه شیراز تهیه و مایه قارچی با استفاده از کشت تله‌ای با گیاه ذرت در محیط کشت ترکیبی از خاک و شن کوارتز با نسبت حجمی یک به چهار تهیه شد. تعداد اسپور در هر گرم مایه ۹ تا ۱۱ عدد و کلنیزاسیون ریشه هم ۷۵ تا ۸۵٪ تخمین زده شد (۳۹).

ماده‌های گیاهی

برای انجام این پژوهش از افکنده‌های یک‌ساله و یک‌دست سه پایه‌رویشی تجاری سیب یعنی M₇، M₉ و MM₁₀₆ استفاده شد که از یک تولیدکننده نهال معتبر در شهرستان نیریز که نهال‌های شناسه‌دار تولید می‌کند، تهیه شد. آزمایش از اسفند ماه سال ۹۰ تا شهریور ماه ۹۱ در گلخانه بخش باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد. هنگام کشت برای تلقیح قارچ ریشه‌ای آربوسکولار، مایه قارچی شامل هاگ، ریشه، قطعه‌های ریشه‌ای و آمیخته خاکی با وزن ۵۰ گرم به ازای هر گلدان با خاک اطراف ریشه نهال آمیخته شد (به گلدان‌های شاهد نیز ۵۰ گرم مایه قارچی اتوکلاو شده افزوده شد). نهال‌ها پس از کشت برای یکسان سازی ارتفاع و شروع رشد جدید از ۳

سانتی‌متری سطح خاک سربرداری شدند. هیچ‌گونه ماده غذایی تکمیلی به گلدان‌ها افزوده نشد و برای جلوگیری از آبشویی ماده‌های غذایی و آسیب به قارچ‌ها، آبیاری نهال‌ها به مقدار یکسان، یکنواخت و کم و هر سه روز یکبار انجام گرفت. دمای گلخانه در طول روز و شب به ترتیب برابر 25 ± 2 و 18 ± 2 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی آن 5 ± 75 درصد بود.

طرح آماری آزمایش

آزمایش به صورت فاکتوریل با دو فاکتور پایه در سه سطح (M_7 , M_9 و MM_{106}) و قارچ در چهار سطح (*Glomus versiforme*, *Rhizophagus intraradices*, *Claroideoglossum etunicatum* و شاهد) در قالب طرح پایه به طور کامل تصادفی با سه تکرار و هر تکرار شامل سه گیاه و در مجموع شامل $3 \times 3 \times 4 = 36$ گلدان بود.

اندازه‌گیری شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک

اولین اندازه‌گیری طول و قطر ساقه در هفته یازدهم و اندازه‌گیری‌های بعدی این دو ویژگی هر چهار هفته یک بار در هفته‌های پانزدهم و نوزدهم تکرار شد. طول ساقه با خط کش و قطر ساقه با دستگاه کولیس دیجیتالی ثبت شد. وزن تر اندام‌های گیاه در پایان آزمایش و پس از برداشت گیاهان با ترازوی دیجیتالی با دقت یک‌هزارم گرم اندازه‌گیری شد.

مقدار کلرفیل به روش شیمیایی اندازه‌گیری شد (۳۲).

مقدار فتوسنتز خالص و تعرق به وسیله دستگاه فتوسنتزسنج (ADC BioScientific LCA4 Ltd.) ساخت کشور انگلستان اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری روی سه برگ واقع شده در جهت‌های مختلف هر گیاه و در بین ساعت ۱۰ تا ۱۲ صبح انجام شد. اولین مرحله اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیک نیز در هفته یازدهم انجام شد و بعد از آن دو بار دیگر با فاصله هر چهار هفته از همدیگر در هفته‌های پانزدهم و نوزدهم تکرار شد.

اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون ریشه فقط یک بار و در پایان آزمایش انجام شد. برای این منظور رنگ‌آمیزی ریشه به روش کورمانیک و مک گرو (۱۷) انجام شد و سپس کلونیزاسیون ریشه با اندام‌های قارچی شامل آربوسکول، هیف و وزیکول‌ها به روش تقاطع خطوط مشبک (Grid-line intersect method) در زیر میکروسکوپ نوری بررسی شدند.

واکاوی آماری

واکاوی آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹ انجام و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج

شاخص‌های رشد

ارتفاع ساقه

قارچ‌های ریشه‌ای باعث افزایش ارتفاع گیاهان تیمار شده نسبت به شاهد شدند و در بین آن‌ها نیز قارچ *G. versiforme* برتر از دیگر قارچ‌ها بود. در هفته‌های یازدهم و پانزدهم پایه MM_{106} بیشترین ارتفاع ساقه را داشت اما در هفته نوزدهم ارتفاع ساقه پایه M_7 بیشتر از دو پایه دیگر بود. اثرهای برهمکنش قارچ و پایه بر ارتفاع ساقه نشان داد که هفته یازدهم بعد از کشت بیشترین ارتفاع مربوط به پایه MM_{106} تیمار شده با قارچ *C. etunicatum* بود که البته با اثر قارچ *G. versiforme* تفاوت معنی‌داری نداشت، اما در هفته‌های پانزدهم و نوزدهم بیشترین ارتفاع مربوط به پایه M_7 تیمار شده با قارچ *G. versiforme* بود (جدول ۲).

قطر ساقه

قارچ‌های میکوریز باعث افزایش قطر ساقه نسبت به تیمار شاهد (بدون قارچ) شدند و در بین آن‌ها نیز قارچ *G. versiforme* برتر از دیگران بود. پایه M_7 در هر سه زمان اندازه‌گیری شده قطر ساقه کمتری از دیگر پایه‌ها

داشت. اثرهای برهمکنش قارچ و پایه بر قطر ساقه نشان داد که بیشترین قطر ساقه در هفته یازدهم بعد از کشت مربوط پایه MM₁₀₆ تیمار شده با دو قارچ *G. versiforme* و *C. etunicatum* و کمترین قطر ساقه در این زمان

جدول ۲- اثرگونه‌های قارچ آربوسکولار مایکوریزا بر ارتفاع ساقه (سانتی‌متر) پایه‌های رویشی سیب در سه زمان (T1، T2 و T3، به‌ترتیب ۱۱، ۱۵ و ۱۹ هفته بعد از کاشت نهال‌ها).

Table 2. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on shoot height (cm) of clonal apple rootstocks at three times (T1, T2, and T3; 11, 15, and 19 weeks after transplanting, respectively).

زمان Time	پایه ها Rootstocks	AMF species			میانگین Mean
		<i>G. versiforme</i>	<i>R. intraradices</i>	<i>C. etunicatum</i>	
				شاهد Control	
T1	MM ₁₀₆	40.00 ^a	37.00 ^b	41.00 ^a	34.00 ^{cd}
	M ₇	33.00 ^d	29.66 ^e	29.00 ^e	23.33 ^f
	M ₉	33.66 ^{bc}	35.30 ^{bcd}	33.00 ^d	27.66 ^e
	میانگین Mean	36.55 ^A	34.00 ^B	34.33 ^B	28.33 ^C
T2	MM ₁₀₆	49.33 ^b	47.66 ^{bc}	51.66 ^a	45.66 ^{cd}
	M ₇	52.33 ^a	48.33 ^b	45.33 ^d	38.66 ^g
	M ₉	43.66 ^{de}	42.00 ^{ef}	41.00 ^f	36.33 ^h
	میانگین Mean	48.44 ^A	46.00 ^B	46.00 ^B	40.22 ^C
T3	MM ₁₀₆	56.33 ^{cd}	54.00 ^{de}	56.00 ^{cd}	52.33 ^{ef}
	M ₇	66.66 ^a	66.00 ^b	58.66 ^{bc}	49.00 ^{fg}
	M ₉	49.66 ^{fg}	47.66 ^g	43.66 ^h	40.33 ^h
	میانگین Mean	57.55 ^A	54.55 ^B	52.77 ^B	47.22 ^C

†Means followed by similar letters (Capital and small letters, relates to main and interaction effects, respectively) are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه (حرف‌های بزرگ و کوچک به ترتیب مربوط به اثرهای اصلی و برهمکنش هستند)، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

مربوط به پایه M₇ نبود قارچ ریشه‌ای بود. این روند در هفته‌های پانزدهم و نوزدهم نیز ادامه داشت اما در این دو زمان تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای قارچ ریشه‌ای در پایه MM₁₀₆ مشاهده نشد. به‌طور کلی، در همه پایه‌ها اثر قارچ *G. versiforme* بر قطر شاخساره در مقایسه با گیاهان شاهد معنی‌دار بود ولی اثر دو قارچ دیگر در برخی موارد نسبت به شاهد معنی‌دار نبود (جدول ۳).

وزن تر شاخساره

نتیجه‌ها نشان داد که پایه‌های تلقیح شده با قارچ به‌طور معنی‌داری وزن تر شاخساره بیشتری از پایه‌های تلقیح نشده (شاهد) داشتند ولی بین قارچ‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در بین پایه‌ها، پایه MM₁₀₆ بیشترین و پایه M₇ کمترین وزن تر شاخساره را داشت. نتیجه‌های حاصل از برهمکنش گونه قارچ ریشه‌ای با پایه نیز نشان داد که بیشترین وزن تر شاخساره مربوط به پایه MM₁₀₆ در برهمکنش با قارچ *G. versiforme* بود که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با مقدار وزن تر شاخساره همین پایه در تیمار با دو قارچ دیگر نداشت و کمترین مقدار مربوط به پایه M₇ بدون تیمار قارچ بود (جدول ۴).

جدول ۳- اثر گونه‌های قارچ آربوسکولار مایکوریز بر قطر ساقه (میلی متر) پایه‌های رویشی سیب در سه زمان (T1، T2 و T3، به ترتیب ۱۱، ۱۵ و ۱۹ هفته بعد از کاشت نهال‌ها).

Table 3. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on shoot height (cm) of clonal apple rootstocks at three times (T1, T2, and T3; 11, 15, and 19 weeks after transplanting, respectively).

زمان Time	پایه ها Rootstocks	AMF species			شاهد Control	میانگین Mean
		<i>G. versiforme</i>	<i>R. intraradices</i>	<i>C. etunicatum</i>		
T1	MM ₁₀₆	5.23 ^a	4.68 ^{bc}	5.23 ^a	4.30 ^{cd}	4.86 ^A
	M ₇	4.13 ^{de}	3.90 ^{de}	3.73 ^e	3.10 ^f	3.71 ^C
	M ₉	4.90 ^{ab}	4.63 ^{bc}	4.23 ^{cd}	4.30 ^{cd}	4.51 ^B
	میانگین Mean	4.75 ^A	4.40 ^B	4.40 ^B	3.90 ^C	
T2	MM ₁₀₆	6.83 ^{ab}	6.80 ^{ab}	6.98 ^a	6.21 ^{cd}	6.70 ^A
	M ₇	5.70 ^{de}	4.76 ^f	4.73 ^f	3.80 ^g	4.75 ^C
	M ₉	6.83 ^{ab}	5.93 ^{cde}	6.43 ^{bc}	5.50 ^e	6.17 ^B
	میانگین Mean	6.45 ^A	5.83 ^B	6.05 ^B	5.17 ^C	
T3	MM ₁₀₆	7.80 ^a	7.60 ^a	7.76 ^a	6.76 ^{bcd}	7.48 ^A
	M ₇	6.56 ^{cd}	5.66 ^e	5.83 ^e	4.83 ^f	5.72 ^C
	M ₉	7.33 ^{ab}	6.63 ^{cd}	6.90 ^{bc}	6.10 ^{de}	6.74 ^B
	میانگین Mean	7.22 ^A	6.63 ^B	6.83 ^B	5.90 ^C	

†Means followed by similar letters (Capital and small letters, relates to main and interaction effects, respectively) are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه (حرف‌های بزرگ و کوچک به ترتیب مربوط به اثرهای اصلی و برهمکنش هستند)، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول ۴- اثر گونه‌های قارچ آربوسکولار مایکوریز بر مقدار وزن تر شاخساره (گرم) پایه‌های رویشی.

Table 4. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on shoot fresh weight (g) of clonal apple rootstocks.

پایه ها Rootstocks	AMF species			شاهد Control	میانگین Mean
	<i>G. versiforme</i>	<i>R. intraradices</i>	<i>C. etunicatum</i>		
MM ₁₀₆	37.01 ^a	35.31 ^{ab}	36.90 ^a	32.79 ^{abc}	35.50 ^A
M ₇	33.47 ^{ab}	28.85 ^{cde}	24.71 ^e	14.70 ^f	25.43 ^C
M ₉	31.78 ^{bcd}	32.66 ^{abc}	34.36 ^{ab}	27.56 ^{de}	31.59 ^B
میانگین Mean	34.09 ^A	32.27 ^A	31.99 ^A	25.02 ^B	

†Means followed by similar letters (Capital and small letters, relates to main and interaction effects, respectively) are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه (حرف‌های بزرگ و کوچک به ترتیب مربوط به اثرهای اصلی و برهمکنش هستند)، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

شاخص‌های فیزیولوژیک

کلروفیل کل

نتیجه‌ها نشان داد که مقدار کلروفیل کل در طول زمان افزایش پیدا کرد. قارچ‌های ریشه‌ای در هر سه زمان باعث افزایش مقدار کلروفیل کل شدند و در بین آن‌ها قارچ *G. versiforme* برتر از بقیه بود. پایه M₉ در هر سه زمان

اندازه‌گیری شده مقدار کلروفیل کل بیشتری نسبت به دیگر پایه‌ها داشت. اثرهای برهمکنش قارچ و پایه بر مقدار کلروفیل کل در نهال‌های سیب در سه مرحله زمانی، نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل کل در هر سه مرحله زمانی در پایه M9 تلفیح شده با قارچ *G. versiforme* مشاهده شد و کمترین آن نیز در تیمار شاهد (بدون قارچ) دو پایه دیگر به ثبت رسید (جدول ۵).

جدول ۵- اثر گونه‌های قارچ آربوسکولار میکوریز بر مقدار کلروفیل کل برگ (میلی‌گرم بر گرم) پایه‌های رویشی سیب در سه زمان (T1، T2 و T3؛ به ترتیب ۱۱، ۱۵ و ۱۹ هفته بعد از کاشت نهال‌ها).

Table 5. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on total chlorophyll content (mg/g) of clonal apple rootstocks at three times (T1, T2, and T3; 11, 15, and 19 weeks after cultivation, respectively).

زمان Time	پایه ها Rootstocks	گونه های قارچ آربوسکولار میکوریز AMF species				
		<i>G.</i> <i>versiforme</i>	<i>R.</i> <i>intraradices</i>	<i>C.</i> <i>etunicatum</i>	شاهد Control	میانگین Mean
T1	MM ₁₀₆	0.762 ^c	0.729 ^c	0.728 ^c	0.563 ^{ef}	0.696 ^B
	M ₇	0.598 ^e	0.643 ^d	0.596 ^e	0.542 ^f	0.594 ^C
	M ₉	0.864 ^a	0.849 ^{ab}	0.819 ^b	0.743 ^c	0.818 ^A
	میانگین	0.740 ^A	0.740 ^A	0.714 ^B	0.616 ^C	
	Mean					
T2	MM ₁₀₆	0.850 ^{bc}	0.796 ^c	0.851 ^{bc}	0.686 ^d	0.796 ^B
	M ₇	0.960 ^a	0.877 ^b	0.778 ^c	0.653 ^d	0.817 ^B
	M ₉	0.996 ^a	0.973 ^a	0.921 ^b	0.781 ^c	0.918 ^A
	میانگین	0.935 ^A	0.882 ^B	0.850 ^B	0.707 ^C	
	Mean					
T3	MM ₁₀₆	0.893 ^b	0.883 ^b	0.870 ^b	0.650 ^d	0.824 ^B
	M ₇	0.834 ^{bc}	0.836 ^{bc}	0.709 ^d	0.689 ^d	0.767 ^C
	M ₉	1.000 ^a	0.867 ^b	1.010 ^a	0.806 ^c	0.923 ^A
	میانگین	0.911 ^A	0.862 ^B	0.864 ^B	0.715 ^C	
	Mean					

†Means followed by similar letters (Capital and small letters, relates to main and interaction effects, respectively) are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه (حرف‌های بزرگ و کوچک به ترتیب مربوط به اثرهای اصلی و برهمکنش هستند)، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

فتوسنتز

قارچ‌های ریشه‌ای در هر سه زمان باعث افزایش مقدار فتوسنتز نسبت به تیمار شاهد شدند که در زمان اول بین قارچ‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی در دو زمان بعدی قارچ *G. versiforme* برتر از دو قارچ دیگر بود. بیشترین و کمترین مقدار فتوسنتز در هر سه زمان به ترتیب در پایه‌های M9 و M7 به ثبت رسید. اثرهای برهمکنش قارچ و پایه بر مقدار فتوسنتز در پایه‌های سیب در سه مرحله زمانی پس از کشت، نشان داد که بیشترین آهنگ فتوسنتز در هر سه مرحله زمانی در پایه M9 همزیست شده با قارچ‌های مختلف ثبت شد و همچنین در هر سه مرحله زمانی کمترین آهنگ فتوسنتز در پایه M7 در نبود قارچ ریشه‌ای مشاهده شد (جدول ۶).

مقدار تعرق

قارچ‌های ریشه‌ای در هر سه زمان باعث افزایش مقدار تعرق نسبت به تیمار شاهد شدند که در زمان‌های اول و دوم بین قارچ‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی در زمان سوم تعرق گیاهان تیمار شده با قارچ *C. etunicatum* به طور معنی‌داری کمتر از دو قارچ دیگر بود. بیشترین و کمترین مقدار تعرق در هر سه زمان

به ترتیب در پایه‌های M₉ و M₇ به ثبت رسید. اثرهای برهمکنش قارچ و پایه بر مقدار تعرق در نهال‌های سیب در سه مرحله زمانی پس از کشت، نشان داد که در زمان‌های اول و دوم بیشترین مقدار تعرق در پایه‌های M₉ و MM₁₀₆ تیمار شده با هر سه قارچ دیده شد و کمترین مقدار تعرق در این دو مرحله زمانی در پایه M₇ در نبود قارچ ریشه‌ای ثبت شد. در زمان سوم بیشترین مقدار تعرق در پایه M₉ تیمار شده با دو قارچ *G. versiforme* و *R. intraradices* و کمترین مقدار نیز در تیمار بدون قارچ پایه‌های M₇ و MM₁₀₆ مشاهده شد (جدول ۷).

جدول ۶- اثر گونه‌های قارچ آربوسکولار مایکوریز بر مقدار فتوسنتز (میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه) پایه‌های رویشی سیب در سه زمان (T₁، T₂ و T₃؛ به ترتیب ۱۱، ۱۵ و ۱۹ هفته بعد از کاشت نهال‌ها).

Table 6. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) of clonal apple rootstocks at three times (T₁, T₂, and T₃; 11, 15, and 19 weeks after cultivation, respectively).

زمان Time	پایه ها Rootstocks	گونه های قارچ آربوسکولار مایکوریز AMF species				میانگین Mean
		<i>G. versiforme</i>	<i>R. intraradices</i>	<i>C. etunicatum</i>	شاهد Control	
T ₁	MM ₁₀₆	8.05 ^a	7.51 ^{ab}	7.63 ^{ab}	6.50 ^{cd}	7.42 ^A
	M ₇	6.16 ^d	6.36 ^d	6.56 ^{cd}	6.54 ^{cd}	6.41 ^B
	M ₉	7.66 ^{ab}	7.74 ^{ab}	8.16 ^a	7.20 ^{bc}	7.69 ^A
	میانگین Mean	7.29 ^A	7.20 ^A	7.45 ^A	6.74 ^B	
T ₂	MM ₁₀₆	8.60 ^{ab}	7.76 ^{cde}	7.50 ^{def}	6.30 ^{gh}	7.54 ^B
	M ₇	7.97 ^{bcd}	7.23 ^{ef}	6.96 ^{fg}	6.06 ^h	7.06 ^C
	M ₉	8.43 ^{abc}	8.33 ^{bc}	9.06 ^a	7.00 ^{fg}	8.20 ^A
	میانگین Mean	8.33 ^A	7.77 ^B	7.84 ^B	6.45 ^C	
T ₃	MM ₁₀₆	14.33 ^{ab}	12.53 ^d	12.36 ^d	10.01 ^e	12.31 ^B
	M ₇	12.26 ^d	12.16 ^d	12.58 ^{cd}	9.63 ^e	11.66 ^C
	M ₉	15.30 ^a	14.32 ^{ab}	13.68 ^{bc}	12.17 ^d	13.87 ^A
	میانگین Mean	13.96 ^A	13.00 ^B	12.87 ^B	10.60 ^C	

†Means followed by similar letters (Capital and small letters, relates to main and interaction effects, respectively) are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه (حرف‌های بزرگ و کوچک به ترتیب مربوط به اثرهای اصلی و برهمکنش هستند)، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

کلونیزاسیون ریشه

نتیجه‌ها نشان داد که پایه‌های تلقیح شده با قارچ به طور معنی‌داری کلونیزاسیون بالاتری از پایه‌های تلقیح نشده (شاهد) داشتند و قارچ *G. versiforme* نسبت به دیگر قارچ‌ها کلونیزاسیون ریشه‌ای بیشتری داشت. در بین پایه‌ها، پایه M₇ بیشترین و پایه M₉ کمترین درصد کلونیزاسیون را داشت. نتیجه‌های حاصل از برهمکنش گونه قارچ ریشه‌ای با پایه نیز نشان داد که بیشترین کلونیزاسیون ریشه‌ای مربوط به پایه M₇ در برهمکنش با قارچ *G. versiforme* بود که از نظر آماری تفاوتی با مقدار کلونیزاسیون همین قارچ روی پایه MM₁₀₆ نداشت و کمترین مقدار مربوط به پایه M₉ بدون تیمار قارچ بود (جدول ۸).

جدول ۷- اثر گونه‌های قارچ آربوسکولار مایکوریز بر مقدار تعرق (میلی مول بر مترمربع بر ثانیه) پایه‌های رویشی سیب در سه زمان (T1، T2 و T3؛ به ترتیب ۱۱، ۱۵ و ۱۹ هفته بعد از کاشت نهال‌ها).

Table 7. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on transpiration ($\text{mmol/m}^2/\text{s}$) of clonal apple rootstocks at three times (T1, T2 and T3; 11, 15, and 19 weeks after cultivation, respectively).

Time	Rootstocks	گونه های قارچ آربوسکولار مایکوریز				میانگین Mean
		AMF species			شاهد Control	
		<i>G. versiforme</i>	<i>R. intraradices</i>	<i>C. etunicatum</i>		
T1	MM ₁₀₆	4.00 ^a	3.94 ^a	4.01 ^a	3.26 ^b	3.80 ^B
	M ₇	2.96 ^{bc}	3.10 ^{bc}	2.88 ^c	2.48 ^d	2.86 ^C
	M ₉	4.12 ^a	4.10 ^a	4.17 ^a	3.99 ^a	4.09 ^A
	میانگین	3.69 ^A	3.71 ^A	3.69 ^A	3.24 ^B	
	Mean					
T2	MM ₁₀₆	4.80 ^a	4.56 ^a	4.65 ^a	3.48 ^{cd}	4.37 ^B
	M ₇	3.87 ^{bc}	4.01 ^b	3.91 ^{bc}	3.34 ^d	3.78 ^C
	M ₉	4.92 ^a	5.00 ^a	4.78 ^a	4.07 ^b	4.69 ^A
	میانگین	4.53 ^A	4.52 ^A	4.45 ^A	3.63 ^B	
	Mean					
T3	MM ₁₀₆	5.01 ^b	4.77 ^{bc}	4.77 ^{bc}	3.46 ^f	4.50 ^B
	M ₇	4.35 ^{de}	4.55 ^{de}	4.27 ^e	3.49 ^f	4.17 ^C
	M ₉	5.53 ^a	5.60 ^a	5.03 ^b	4.63 ^{cd}	5.20 ^A
	میانگین	4.96 ^A	4.97 ^A	4.69 ^B	3.86 ^C	
	Mean					

†Means followed by similar letters (Capital and small letters, relates to main and interaction effects, respectively) are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه (حرف‌های بزرگ و کوچک به ترتیب مربوط به اثرهای اصلی و برهمکنش هستند)، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول ۸- اثر گونه‌های قارچ آربوسکولار مایکوریز بر مقدار کلونیزاسیون ریشه (درصد) پایه‌های رویشی.

Table 8. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on root clonization (%) of clonal apple rootstocks.

پایه ها Rootstocks	گونه های قارچ آربوسکولار مایکوریز				میانگین Mean
	AMF species			شاهد Control	
	<i>G. versiforme</i>	<i>R. intraradices</i>	<i>C. etunicatum</i>		
MM ₁₀₆	75.33 ^a	67.66 ^{cd}	66.33 ^d	7.00 ^e	54.08 ^B
M ₇	76.00 ^a	69.33 ^{bc}	70.66 ^b	7.33 ^e	55.83 ^A
M ₉	67.00 ^{cd}	65.66 ^d	65.33 ^d	2.33 ^f	50.08 ^C
میانگین	72.77 ^A	67.55 ^B	67.44 ^B	5.55 ^C	
Mean					

†Means followed by similar letters (Capital and small letters, relates to main and interaction effects, respectively) are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD.

†میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه (حرف‌های بزرگ و کوچک به ترتیب مربوط به اثرهای اصلی و برهمکنش هستند)، در سطح ۵٪ آزمون LSD تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

بحث

شاخص های رشد

نتیجه ها نشان داد که قارچ های میکوریزی (*C. etunicatum* و *R. intraradices*, *G. versiforme*) توانستند رشد طولی و قطری و همچنین وزن تر شاخساره را در پایه های رویشی سیب (MM₁₀₆، M₇ و M₉) همزیست شده نسبت به گیاهان شاهد بهبود ببخشند و همچنین مشخص شد که ممکن است پایه های مختلف واکنش متفاوتی به گونه قارچ داشته باشند. گزارش های متعددی وجود دارد که این قارچ ها می توانند با گسترش ریشه های خود روی تارهای کشنده سبب بهبود جذب آب و عنصرهای غذایی شوند و به طور غیرمستقیم با تحریک ریشه سبب گسترش آن در خاک گردند و در نتیجه سبب دسترسی بیشتر و بهتر ریشه به منابع آبی و غذایی اطراف خود شوند (۲۶). مورین و همکاران (۲۵) پاسخ چند پایه سیب (P₁₆، P₂₂ و O₃) را به قارچ ریشه ای آربوسکولار در خاک با فسفر بالا مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند که ارتفاع گیاهان همزیست با قارچ در مقایسه با شاهد بیشتر بود. آن ها بهبود رشد پایه های سیب تلقیح شده با قارچ های میکوریز را به دلیل بهبود جذب عنصرهای غذایی به ویژه فسفر مرتبط دانستند. رزندس و همکاران (۳۱) با بررسی رشد ریشه درختان سیب همزیست شده با قارچ های ریشه ای و شاهد بیان کردند که مقدار سرعت رشد ریشه در گیاهان همزیست بالاتر از شاهد بود، آن ها همچنین بیان کردند که طول دوره رشد ریشه در گیاهان تیمار شده با قارچ ریشه ای بیشتر است. این قارچ ها همچنین می توانند با بهبود جذب عنصرهای غذایی و بهتر شدن روابط آبی گیاه، آهنگ فتوسنتزی را افزایش داده و آن هم منجر به افزایش کربوهیدرات های در دسترس گیاه می شود که افزایش رشد گیاه را در پی دارد (۲۸، ۲۹). البته در پژوهش حاضر نیز اندازه گیری غلظت عنصرهای غذایی در گیاهان مؤید تاثیر مثبت همزیستی قارچ های ریشه ای بر جذب نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن و روی بود (داده ها بیشتر در مقاله دیگری منتشر شده است (۱۵)). در این پژوهش ارتفاع شاخساره در سه مرحله زمانی اندازه گیری شد و همان طور که نتیجه ها نشان داد مقدار تغییر ارتفاع ساقه از زمان ۱۱ هفته به ۱۵ هفته به مراتب بیشتر از تغییر آن از زمان ۱۵ هفته به ۱۹ هفته در همه پایه ها به جز پایه M₇ بود (جدول ۲)، علت را این گونه می توان توجیه کرد که به دلیل رشد بیشتر دو پایه MM₁₀₆ و M₉ در مراحل اولیه رشد، مقدار عنصرهای غذایی در دسترس برای ادامه رشد به ویژه عنصر نیتروژن محدود شده که با گذر از زمان ۱۵ به ۱۹ هفته رشد آن ها کمتر شده است؛ اما چنین روندی در پایه M₇ دیده نشد چرا که در مراحل اولیه رشد کندتری داشته و عنصرهای غذایی موجود در خاک در مراحل اولیه رشد مصرف نشد. این گفته ها با یافته های مورین و همکاران (۲۵) همسویی دارد که بیان کردند به احتمال در گیاهان همزیست با میکوریز به دلیل رشد اولیه بالا، نیتروژن در دسترس آن ها در خاک تخلیه شده و این منجر به رشد کند آن ها در پایان آزمایش می شود. در بین پایه ها برخلاف این که ارتفاع پایانی پایه M₇ بیشتر از دو پایه دیگر بود ولی قطر و وزن تر این پایه به مراتب کمتر از دو پایه دیگر بود. این پایه از نظر تقسیم بندی رشدی جزء پایه های نیمه پاکوتاه کننده به حساب می آید و از نظر القاء کوتاه کنندگی روی رقم پیوند شده روی آن، قویتر از M₉ و اندکی کوتاه کننده تر از MM₁₀₆ می باشد (۴، ۲۲). در این آزمایش برخلاف این که انتظار می رفت از نظر شاخص های رشد این پایه حد واسط دو پایه دیگر قرار گیرد، از نظر ارتفاع بالاتر از دو پایه دیگر بود ولی از نظر قطر و وزن تر شاخساره به مراتب کمتر از MM₁₀₆ و حتی کمتر از پایه کوتاه کننده M₉ بود. باید بیان شود که مقدار رشد خود پایه در خزانه به الزام متناسب با درجه انگیزش کوتاه کنندگی آن بر رقم پیوند شده روی آن نیست (۴) و با توجه به این که در این آزمایش از نهال های پیوندی استفاده نشده است، در مورد مقدار کوتاه کنندگی آن ها نمی توان قضاوت کرد. در ضمن با این که این پایه از نظر درصد کلونیزاسیون ریشه، اندکی برتر از دو پایه دیگر بود (البته این شاخص فقط در پایان آزمایش اندازه گیری شده است و با توجه به رشد کمتر این پایه در دو مرحله اول اندازه گیری شاید همزیست شدن قارچ کندتر صورت گرفته باشد) ولی در سایر شاخص های فیزیولوژیک به ویژه مقدار فتوسنتز نیز ضعیف تر از دو

پایه دیگر بود که خود می‌تواند دلیل دیگری بر رشد کمتر این پایه باشد. به نظر می‌رسد این پایه با خاک‌های آهکی سازگاری خوبی ندارد.

شاخص‌های فیزیولوژیک

نتیجه‌ها نشان داد که گیاهان همزیست با قارچ از آهنگ فتوسنتزی بالاتری برخوردارند. حضور قارچ‌های همزیست سبب جذب و نگه‌داری بیشتر آب و بهبود تنظیم‌های روزنه‌ای می‌شود که در نتیجه سبب افزوده شدن بر مقدار فتوسنتز می‌گردد. گزارش‌های زیادی در ارتباط با اثر قارچ‌های ریشه‌ای آربوسکولار در ارتباط با افزایش مقدار فتوسنتز (۱۶)، افزایش هدایت هیدورلیکی ریشه در جذب آب (۱۲) و در نتیجه افزایش مقدار تعرق (۲۰) وجود دارد. تجمع بالای فسفر در برگ‌های گیاهان همزیست با قارچ ریشه‌ای دلیل اول برای بالا رفتن فتوسنتز عنوان شده است چرا که عنصر فسفر نقش مهمی به عنوان ناقل انرژی در این فرآیند دارد (۱۳، ۳۳). همچنین با مصرف ماده‌های کربوهیدراتی حاصل از فتوسنتز توسط قارچ‌های ریشه‌ای همزیست، گیاه میزبان مجبور به جبران از دست‌دهی این ماده‌ها شده و فتوسنتز خود را همچنان بالا نگه می‌دارد به عبارتی دیگر قارچ‌های همزیست به عنوان یک محل مصرف متابولیکی عمل می‌کنند که منجر به حرکت از بالا به پایین ماده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها می‌شوند (۳۳). همچنین عنوان شده است که با افزایش تلفات تنفسی گیاه همزیست، قارچ ریشه‌ای آربوسکولار ممکن است به عنوان یک مخزن متابولیکی عمل کرده و باعث حرکت از بالا به پایین ماده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها شود، که این فرایند براساس رابطه مبدأ-مخزن می‌تواند منجر به ارائه محرک‌هایی برای فعالیت فتوسنتزی بیشتر شود (۶). دلیل دیگر برای افزایش فتوسنتز در گیاهان همزیست شده با قارچ ریشه‌ای نسبت به گیاهان شاهد را می‌توان در تفاوت بین مقدار کلروفیل آن‌ها جستجو کرد. در این پژوهش قارچ‌های ریشه‌ای در گیاهان همزیست نسبت به گیاهان شاهد کلروفیل بیشتری تولید کردند که منجر به افزایش آهنگ فتوسنتزی نیز شد که با نتیجه‌های پژوهش نیرپندرا و همکاران (۲۸) در انار همسویی دارد. دلیل دیگر برای اثبات این گفته آهنگ فتوسنتزی پایه M_9 است که در نتیجه‌ها مشخص شد که این پایه نسبت به پایه‌های دیگر آهنگ فتوسنتزی بالاتری دارد که همسو با آن، مقدار کلروفیل بالاتری هم داشت. گزارش شده است که تلقیح گیاه نارنج با قارچ *G. interadices* باعث افزایش تثبیت CO_2 فتوسنتزی شده است که با افزایش کلروفیل و فعالیت آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز (RuBP Case) همراه بود (۲۷). فلاحی و همکاران (۸) نیز با پیوند رقم فوجیروی پایه‌های M_9 ، M_7 و M_{26} گزارش کردند که درختان فوجی پیوند شده روی پایه M_9 آهنگ فتوسنتزی بالاتری داشتند، علت را چنین بیان کردند که سایه‌سار کوچکتر این پایه نسبت به پایه‌های دیگر منجر به نفوذ بیشتر نور به داخل آن و در پایان بالا رفتن مقدار فتوسنتز شده است (۸).

نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که گیاهان همزیست با قارچ مقدار تعرق بیشتری نیز داشتند، همان‌طور که بیان شد قارچ‌های ریشه‌ای با بهبود روابط آبی گیاه میزبان در داخل خاک منجر به جذب و نگه‌داری بیشتر آب توسط ریشه‌ها می‌شوند و به دنبال آن آب بیشتری به برگ‌ها انتقال یافته و این باعث خروج بیشتر آب از روزنه‌ها می‌شود. باید توجه داشت که این باز شدن روزنه‌ها به منظور بیشتر از دست دادن آب، سبب می‌شود که دی اکسید کربن بیشتری وارد برگ شود و در نتیجه مقدار فتوسنتز افزایش یابد (۱۱).

نتیجه‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که رنگدانه فتوسنتزی کلروفیل کل در گیاهان همزیست نسبت به گیاهان غیرهمزیست بالاتر بود. مقدار کلروفیل کل در هر سه مرحله زمانی در گیاهان مایکوریزی نسبت به گیاهان شاهد بالاتر بود. غلظت کلروفیل در گیاه به طور معمول بازتابی از مقدار عنصر آهن در گیاه می‌باشد. در صورتی که مقدار آهن در گیاه به حد کافی نباشد ساخت پیش سازهای آزاد کلروفیل مختل می‌شود (۳۷). گزارش شده است که قارچ‌های ریشه‌ای آربوسکولار با بهبود ویژگی‌های رشدی و با افزایش جذب عنصرهایی مانند منیزیم، آهن و

نیتروژن سبب ساخت بیشتر کلروفیل می‌شوند (۱۵، ۳۶، ۳۷) که یافته‌های پژوهش حاضر با این گزارش‌ها همسویی دارد چون که اندازه‌گیری غلظت عنصرهای غذایی در گیاهان آزمایشی نشان داد که گیاهان همزیست شده با قارچ‌های ریشه‌ای مقدار بیشتری از عنصرهای غذایی نیتروژن، آهن و منیزیم را جذب کردند (داده‌های مربوط به جذب عنصرهای غذایی پیشتر در مقاله دیگری منتشر شده است (۱۵)). اثرهای مثبت قارچ‌های ریشه‌ای آربوسکولار و تغذیه تکمیلی با عنصر آهن روی بهبود فتوسنتز گیاه نیز گزارش شده است (۳۷).

نتیجه‌ها نشان داد که پایه M9 نسبت به دو پایه دیگر مقدار کلروفیل، فتوسنتز و تعرق بالاتری داشت. در پژوهش‌های زیادی، نتیجه‌های متناقضی درباره اثر پایه‌های پررشد و کم رشد (یا پاکوتاه کننده) روی ویژگی‌های فیزیولوژیکی همچون فتوسنتز گزارش شده است. فلاحی و همکاران (۸) گزارش کردند که درختان سیب رقم فوجی پیوند شده روی پایه M9 آهنگ فتوسنتز بالاتری نسبت به پایه‌های دیگر داشتند. آن‌ها بیان کردند که سایه‌سار کوچکتر درختان پیوند شده روی این پایه نسبت به پایه‌های دیگر منجر به نفوذ بیشتر نور به داخل سایه‌سار و بالا رفتن مقدار فتوسنتز شده است. سوتیروپلوس (۳۶) گزارش کرد که در بین درختان سیب رقم رد دلش پیوند شده روی پایه‌های با درجه‌های رشد متفاوت، آن‌هایی که روی پایه‌های بذری و پر رشد پیوند شده بودند آهنگ فتوسنتزی بالاتری داشتند. اگرچه فری و باردن (۱۰) نیز گزارش کردند که پایه نمی‌تواند بر آهنگ فتوسنتزی پیوندک اثر داشته باشد.

کلونیزاسیون ریشه

نتیجه‌ها نشان داد که کلونیزاسیون قارچ ریشه‌ای در تمام گیاهان تیمار شده با قارچ صورت گرفته است. درصد بالای کلونیزاسیون قارچ ریشه‌ای در گیاهان تیمار شده می‌تواند منجر به جذب بهتر عنصرهای غذایی، افزایش مقدار کلروفیل کل و همچنین افزایش آهنگ فتوسنتز شود (۳۰). در بین قارچ‌های ریشه‌ای بیشترین کلونیزاسیون به قارچ *G. versiforme* اختصاص یافت. مورین و همکاران (۲۵) گزارش کردند که در تلقیح پایه‌های مختلف رویشی سیب، قارچ *G. versiforme* نسبت به گونه‌های دیگر قارچ میسلیم خارجی بیشتری تولید کرد و بهتر از دو قارچ *R. intraradices* و *G. aggregatum* با پایه‌های سیب همزیست شد. در این آزمایش پایه نیمه پاکوتاه کننده M7 نسبت به دو پایه دیگر کلنیزاسیون بیشتری با قارچ‌های همزیست نشان داد که دلیل آن را در سیستم ریشه‌ای این پایه می‌توان جستجو کرد. این پایه از نظریخت‌شناسی، ریشه‌های ظریف و موئینه بیشتری دارد، درحالی‌که پایه M9 بافت ریشه درشت‌تری دارد که می‌تواند دلیلی بر تفاوت مقدار کلونیزاسیون این دو پایه باشد. در نهال‌های غیر همزیست نیز درصد ناچیزی از همزیستی مشاهده شد که ممکن است به دلیل قارچ‌های احتمالی موجود در خاک مورد آزمایش باشد ولی این مقدار خیلی پایین بود که می‌تواند تأییدی بر کم بودن جمعیت طبیعی قارچ‌های ریشه‌ای در خاک مورد آزمایش باشد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتیجه‌ها نشان داد که همزیستی پایه‌های مختلف رویشی سیب با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، باعث بهبود ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک در گیاهان همزیست با این قارچ‌ها شد و در بین قارچ‌ها گونه *G. versiforme* نسبت به دو گونه دیگر برتری قابل توجهی داشت. همچنین مشخص شد که واکنش پایه‌ها نسبت به قارچ‌های همزیست در ویژگی‌های اندازه‌گیریشده متفاوت بود و پایه MM106 و M9 سازگاری بیشتری با شرایط خاک آهکی استفاده شده در این پژوهش داشتند. بنابراین انتخاب پایه مناسب و همزیست کردن آن با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، می‌تواند باعث بهبود رشد و شاخص‌های فیزیولوژیک مهم مثل فتوسنتز این پایه‌ها در خاک‌های آهکی شود.

References

منابع

1. Allen, M.F., W.K. Smith, T.S. Moore and M. Christensen. 1981. Competitive water relation and photosynthesis of mycorrhizal and non-mycorrhizal *Bouteloua gracilis* (HBK) Lag.ex. Steud. New Phytol. 88:683-693.
2. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in *beta vulgaris*. Plant Physiol. 24:1-15.
3. Baugher, T.A., S. Singha, D.W. Leach and S.P. Walter. 1994. Growth, productivity, spur quality, light transmission and net photosynthesis of 'Golden Delicious' apple on four rootstocks in three training systems. Fruit Var. J. 48:251-255.
4. Barritt, B.H., A.S. Konishi and M.A. Dilley. 1995. Intensive orchard management performance of three apple cultivars with 23 dwarfing rootstock during 8 seasons in Washington. Fruit Var. J. 49(3):158-170.
5. Bethlenfalvay, G.J., M.S. Brown, R.N. Ames and R.S. Thomas. 1988. Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. Physiol. Plant. 72:565-71.
6. Bevege, D.I., G.D. Bowen and M.F. Skinner. 1975. Comparative carbohydrate Physiology of ecto- and endomycorrhizas. In: Sanders, F.F, Mosse, B., Tinker, P.B. (Eds). Endomycorrhizas. Academic Press, New York. pp. 149-175.
7. Dietz, K.J. and C. Foyer. 1986. The relationship between phosphate status and photosynthesis in leaves. Planta, 167(3):376-381.
8. Fallahi, E., W.C. Michael, B. Fallahi and I.J. Chun. 2002. The importance of apple rootstocks on tree growth, yield, fruit quality, leaf nutrition and photosynthesis with an emphasis on Fuji. HortTechnology, 12(1):38-44.
9. Fallahi, E., B.R. Simons, J.K. Fellman, M.A. Longstroth and W.M. Colt. 1994. Tree growth and productivity and postharvest fruit quality in various strains of 'Delicious' apple. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119:389-395.
10. Ferree, M.E. and J.A. Barden. 1971. The influence of strain and rootstocks on photosynthesis, respiration and morphology of 'Delicious' apple tree. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96:453-457.
11. Gosling, P., A. Hodge, G. Goodless and G.D. Bending. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. Agr. Ecosys. Environ. 113:17-35.
12. Graham, J.H. 1986. Citrus mycorrhizae: potential benefits and interactions with pathogens. HortScience, 21:1302-1306.
13. Harrison, M.J., G.R. Dewbre, and J. Liu. 2002. A phosphate transporter from *Medicago truncatula* involved in the acquisition of phosphate released by arbuscular mycorrhizal fungi. Plant Cell. 14:2413-2429.
14. Hoda, A.K., M.E. Ahmed, M.E.S. Samy and M.A.N. Amal. 2011. Improved growth of salinity- stressed citrus after inoculation with mycorrhizal fungi. Sci. Hort. 130:624-632.
15. Hosseini, A. and A. Ghareghani. 2015. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake of apple rootstocks in calcareous soil. Intern.J. Hort. Sci. Technol. 2(2):173-185.
16. Johnson, C.R., J.A. Menge, S. Shewab and I.P. Ting. 1982. Interaction of photoperiod and vesicular-arbuscular mycorrhizae on growth and metabolism of sweet orange. New Phytol. 90:665-669.
17. Kormanik, P.P. and A.C. McGraw. 1982. Quantification of Vesicular-arbuscular Mycorrhizae in Plant Roots. In Methods and Principles of Mycorrhizal Research. Ed. N.C. Schenck. Amer. Phytopathol. Soc. pp. 37-36.
18. Krishna, K. R., H. M. Suresh, J. Syamsunder and D.J. Bag-yaraj. 1981. Changes in the leaves of Pnger millet due to VA mycorrhizal infection. New Phytol. 87:717-722.
19. Kucukyumuk, Z. and I. Erdal. 2011. Rootstocks and cultivar effect on mineral nutrition, seasonal nutrient variation and correlations among leaf, flower and fruit nutrient concentration in apple trees. Bulg. J. Agr. Sci. 17 (5):633-641.

20. Levy, Y., J.P. Syvertsen and S. Memec. 1983. Effect of drought stress and composition of mycorrhizal and non-mycorrhizal apples. *Nature*, 179:922-924.
21. Malakouti, M. J. 2006. Nutritional disorders in fruit trees on the calcareous soils of Iran. *Proceedings of the 18th World Congress of Soil Science: Frontiers of Soil Science Technology and the Information Age*. Philadelphia, Pennsylvania, USA.
22. Marini, R.P., J.A. Barden, J.A. Cline, R.L. Perry and T. Robinson. 2002. Effect of apple rootstocks on average 'Gala' fruit weight at four locations after adjusting for crop load. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127:749-753.
23. Marks, G.S. and T.T. Kozlowski. 1973. *Ectomycorrhizae. Their Ecology and Physiology*. Academic Press, New York, 444 p.
24. Mohammad Reza, D., M.J. Shakouri and Z. Hamzehi. 2012. Effects of M₉ and MM₁₀₆ rootstocks on agromorphological characteristics of 'Golab Kohanz' and 'Delbarstival' cultivars apple in abhar region of Iran. *World Appl. Sci. J.* 20 (7):1043-1046.
25. Morin, F., J.A. Fortin, C. Hamel and D.L. Smith. 1994. Apple rootstock response to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a high phosphorus soil. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(3):578-583.
26. Navarro, A., M.J. Sanchez-Blanco, A. Mortec and S. Ban. 2009. The influence of mycorrhizal inoculation and paclobutrazol on water and nutritional status of *Arbutus unedo* L. *Environ. Exp. Bot.* 66:362-371.
27. Nemec, S. J.C.V. Vu. 1990. Effects of soil phosphorous and *Glomus intraradices* on growth, nonstructural carbohydrates, and photosynthetic activity of *Citrus aurantium*. *Plant Soil.* 128:257-263.
28. Nripendra, V.S., K.S. Sanjay, K.S. Anad, T.M. Deodas, S.S. Sachin, and C.M. Dweijesh. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) induced hardening of micropropagated pomegranate (*Punica granatum* L.) plantlets. *Sci. Hort.* 136:122-137.
29. Pathak, H., V. Dhawan. 2010. Effect of inorganic fertilizer, mycorrhiza and farm yard manure on growth of micropropagated apple rootstock M.7, for the production of graftable plants in one year. *Acta Hort.* 865:209-215.
30. Rajasekaran, P. and S.M. Nagarajan. 2005. Effect of dual inoculation (AM fungi and Rhizobium) on chlorophyll content of *Vigna unguiculata* L. *Mycorr. News* 17:10-11.
31. Resendes, M.L., D.R. Bryla, D.M. Eissenstat. 2008. Early events in the life of apple roots: variation in root growth rate is linked to mycorrhizal and nonmycorrhizal fungal colonization. *Plant Soil.* 313:175-186.
32. Saini, R.S., K.D. Sharma, O.P. Dhankhar and R.A. Kaushik. 2001. *Laboratory manual of analytical techniques in horticulture*. India Agrobios, Pp. 49-50.
33. Sharda, W.K. and B.F. Rodrigues. 2009. Applications of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems: a review. *Trop. Subtr. Agroec.* 10:337- 354.
34. Schubert, A., and G. Lubraco. 2000. Mycorrhizal inoculation enhances growth and nutrient uptake of micropropagated apple rootstocks during weaning in commercial substrates of high nutrient availability. *Appl. Soil Ecol.* 15:113-118.
35. Smith, S.E. and D.J. Read. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. San Diego: Academic Press, 815 p.
36. Sotiropoulos, T.E. 2008. Performance of the apple (*Malus domestica* Borkh) cultivar imperial double red delicious grafted on five rootstocks. *Hort. Sci. (Prague)*. 35:7-11.
37. Wang, M., P. Christie, Z. Xiao, P. Wang, J. Lio, and R. Xia. 2008. Arbuscular mycorrhizal enhancement of iron concentration by *Poncirus trifoliata* L. Raf and *Citrus reticulata* Blancogrown on sand medium under different pH. *Biol. Fertil. Soils.* 45:65-72.
38. Wu, Q.S. and R.X. Xia. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *J. Plant Physiol.* 163:417-425.
39. Zarei, M., N. Saleh-Rastin, G.H. Salehi Jouzani, G.H. Savaghebi, and F. Buscot. 2008. Arbuscular mycorrhizal abundance in contaminated soils around a zinc and lead deposit. *European J. Soil. Biol.* 44:381-391.

Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Seasonal Changes of Some Growth and Physiological Parameters of Apple Clonal Rootstocks in a Calcareous Soil

A. Gharaghani*, A. Hosseini and M. Zarei¹

An experiment carried out to study the effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and physiological parameters of three commercial apple clonal rootstocks during growing season in greenhouse. This investigation was conducted with two factors, rootstock (M₉, M₇ and, MM₁₀₆) and species of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus versiforme*, *Rhizophagus intraradices*, *Claroideoglomus etunicatum* and, control) in a completely randomized design. Growth (including plant height and diameter and shoot fresh weight) and physiological (including total chlorophyll, photosynthesis, and transpiration) parameters as well as root colonization were measured in 11, 15 and 19 weeks after transplanting. Results showed that mycorrhizal treatments and rootstocks had significant effects on all measured parameters comparing to the control. It was also shown that the fungus *Glomus versiforme* performed better than other fungi having the highest records for almost all of the measured parameters. Among the rootstocks, MM₁₀₆ performed the highest shoot fresh weight (as well as plant height in the first and second measurements) but the final height of M₇ was more than MM₁₀₆. The highest and the lowest plant diameter were observed in MM₁₀₆ and M₇, respectively. The highest chlorophyll content, transpiration and photosynthesis rate was measured in M₉ but the highest root colonization was recorded in M₇. It seems that choosing proper rootstocks and treating them with suitable arbuscular mycorrhizal fungi could reduce adverse conditions of calcareous soils for apple trees.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungus, Apple, Clonal rootstocks, Growth, Photosynthesis.

1. Assistant Professor, former M.Sc. Student, Department of Horticultural Science and Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran, respectively.

*Corresponding author, Email: (agharaghani@shirazu.ac.ir).